

Analyse par éléments finis du comportement de la garniture du presse-étoupe soumise aux charges thermo-mécaniques

Kaoutar BAHOU*¹, Mohammed DIANY*², Mustapha MABROUKI*³

*Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire Génie Industriel, BP 523 Béni Mellal 23000, Maroc

1. bahoum.kaoutar@gmail.com

2. mdiany@yahoo.com

3. mus_mabrouki@yahoo.com

Résumé

Les presse-étoupes sont des systèmes qui assurent l'étanchéité des tiges des valves, des axes de pistons et de vérins. Le comportement de ces systèmes est affecté par les conditions de fonctionnement, qui sont la charge de serrage, la température et la pression du fluide, ainsi que par les caractéristiques mécaniques et géométriques des différentes composantes.

Dans ce travail, on présente une étude numérique par élément finis qui analyse les contraintes et les déplacements dans un système à presse-étoupe sous l'effet de la contrainte de serrage et de la température.

Mots clefs : *Presse-étoupes, température, garniture, éléments finis*

1. Introduction

Le rôle des joints d'étanchéité est principalement empêcher les fuites de fluides de l'intérieur vers l'extérieur ou un contaminant extérieur d'entrer à l'intérieure d'un équipement. Le rendement et la fiabilité des joints sont mesurés par leurs performances d'étanchéité.

Les distributions des contraintes dans les joints d'étanchéité ont attiré une attention considérable de la part des chercheurs au cours des dernières décennies. Pengyun et al. [1] ont présenté une analyse théorique du rapport entre les deux coefficients de pression latérale, le premier est à l'interface garniture-tige et l'autre à l'interface garniture-boitier. Ces coefficients représentent la portion de la contrainte axiale qui se transforme en pression de contact dans la direction radiale. Les auteurs de la référence [1] ont validé leur model avec une étude expérimentale. Diany et al. [2] ont proposé une approche analytique simplifiée utilisant la théorie des cylindres à parois épaisses pour étudier les contraintes et les déplacements dans les systèmes de presse-étoupe. Ils ont démontré que le rapport des coefficients de transmission de la pression latérale est proche de un, alors que les pressions de contact dépendent de plusieurs facteurs comme la géométrie de l'assemblage, la nature du matériau de la garniture et les coefficients de frottement. Les mêmes chercheurs [3] ont développé une

méthode hybride expérimentale-analytique pour caractériser les garnitures tressées. Des essais de compression tri-axial combinés à des simulation par la méthode des éléments finis ont permis d'évaluer les coefficients de pression latérale, le module d'élasticité et le coefficient de Poisson. Kazeminia et al. [4-6] ont présenté plusieurs modèles analytiques pour étudier les contraintes dans les composants du presse-étoupe. Ils ont proposé deux configurations pour améliorer la distribution des contraintes de contact, et ce pour assurer une meilleure étanchéité des systèmes de presse-étoupes. La première configuration consiste à introduire un écart variable entre la garniture et le boitier. Ce qui induit une distribution uniforme de la contrainte axiale. La deuxième configuration, qui est plus efficace, consiste à insérer un anneau de la garniture à la fois et imposer une déformation plastique via le processus de chargement et déchargement. Chaque fois qu'un nouvel anneau est mise en place, il sera soumis à des contraintes résiduelles. Ils ont aussi développé un modèle analytique basé sur la combinaison de la théorie des anneaux, de la théorie des cylindres à parois minces et la théorie des poutres sur fondation élastique. Les résultats de l'analyse des garnitures du graphite flexible soumises à trois cas différents de charge ont été comparés avec ceux obtenus par analyse par la méthode des éléments finis et d'essais expérimentaux.

Veiga et al. [7] et Girao et al. [8] ont présenté des études expérimentales effectuées dans un banc d'essai qui simule un système à presse-étoupe. Ils ont évalué l'expansion de la garniture sous différentes températures. Les pressions axiales, au fond du presse-étoupe et au niveau du fouloir, et le couple généré lors de la rotation de la tige ont été mesurées. Ils ont vérifié aussi l'influence de la dilatation thermique sur ces mesures. Ces essais montrent que l'expansion de la garniture due aux variations de température peut augmenter considérablement les contraintes internes du presse-étoupe, conduisant à un couple élevé au niveau de la tige. La diminution de la pression du fouloir conduit à des taux de fuite élevés. Les résultats indiquent également que plus la teneur volumique en PTEE est élevée, plus l'augmentation de la pression du

fouloir est grande et plus il est difficile de contrôler les fuites.

Le présent article présente, en première, une étude numérique, par éléments finis, des pressions de contact et des déplacements engendrés par l'effet de la température et de la pression de serrage sur la garniture du presse-étoupe.

2. Analyse par éléments finis

L'analyse par éléments finis du système à presse-étoupe avec garniture tressée, soumise à des charges thermiques et mécaniques imposées, est réalisée à l'aide du logiciel ANSYS [9].

Pour étudier l'effet de la température et de la contrainte de serrage sur la répartition axiale de la pression de contact, aux interfaces tige-garniture et boîtier-garniture, un modèle axisymétrique est utilisé. La figure 1 représente ce modèle avec le maillage réalisé.

L'élément PLANE223 est choisi pour cette étude, c'est un élément 2D à huit nœuds avec quatre degrés de liberté par nœuds (les trois déplacements et la température).

Les éléments de l'assemblage sont en contact dans la direction radiale. Des éléments de contact sont utilisés pour simuler la réaction des éléments du presse-étoupe lorsqu'ils sont en contact. L'élément CONTA172 est utilisé pour représenter le contact et le glissement entre des surfaces "cibles" 2-D (TARGE169) et une surface déformable.

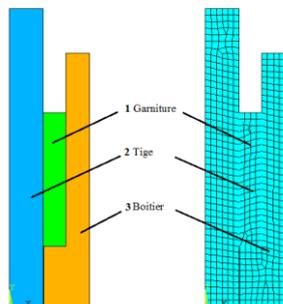


Figure 1: Model éléments finis de l'assemblage

Les contraintes et des déplacements résultants dépendent des propriétés mécaniques des matériaux utilisés pour les composants de l'assemblage de presse-étoupe. Dans cette étude, la tige et le boîtier sont en acier ordinaire et la garniture est en Polytétrafluoroéthylène (PTFE). Le tableau 1 montre les propriétés mécaniques et géométriques des éléments de l'assemblage.

Table 1 : Caractéristiques des éléments de l'assemblage

	Tige	Garniture	Boîtier
Rayon intérieur(mm)	-	14.29	23.89
Rayon extérieur(mm)	14.29	23.89	33.75
Module de Young (GPa)	200	0.126	200
Coefficient de Poisson	0.3	0.4	0.3
Coefficient de dilatation thermique K ⁻¹	11.6e ⁻⁶	126e ⁻⁶	11.6e ⁻⁶

Les conditions aux limites doivent représenter les conditions réelles d'exploitation. En effet, les surfaces inférieures du boîtier et de la tige sont à une température élevée uniforme, qui représente la température du fluide, et les autres surfaces extérieures sont à la température ambiante. La surface supérieure de la garniture est soumise à une charge de serrage axiale uniforme appliquée par le fouloir. Les déplacements dans les directions radiale et axiale sont bloqués au fond de l'assemblage.

Les pressions de contact radiales ainsi que les déplacements axiaux, sous différentes distributions de température et différentes contraintes de serrage, sont déterminés.

3. Résultats et discussions

Dans cette étude numérique, trois charges de serrage de 10, 35 et 50 MPa ont été appliquées sur la garniture et trois différentes températures de 100, 170 et 250 °C, en plus de la température ambiante, ont été appliquées à la surface inférieure de l'assemblage de presse-étoupe.

La figure 2-a montre la distribution de la température dans les trois composantes de l'assemblage lorsque la pression de serrage est de 35 MPa et la température du fluide est de 170 °C. Il est clair que les conditions aux rives relatives à la température sont bien remplies. Fig. 2-b représente les déplacements axiaux des éléments de l'assemblage engendrés dans le même cas de charges.

À la température ambiante, le montage est effectué par le serrage des tresses à l'aide du fouloir. Ce serrage, qui donne un écrasement de la garniture, crée une distribution non uniforme de la pression de contact aux interfaces tige-garniture et garniture-boîtier. La figure 3 présente la distribution de la contrainte axiale dans la garniture. Pour une température donnée et pour une position donnée, l'augmentation de la contrainte de serrage entraîne une augmentation de la contrainte axiale. Par contre, l'augmentation de la température appliquée à la surface intérieure de l'assemblage, a pour conséquence la diminution de la contrainte axiale.

La figure 4 montre la distribution des contraintes de contact radiales entre la garniture et la tige et entre la garniture et le boîtier. Les contraintes de contact radiales sont aussi affectées par la variation de la pression de serrage et la variation de la température. Pour une position axiale donnée, ces contraintes diminuent en valeurs absolues lorsque la pression de serrage diminue ou lorsque la température augmente.

Le déplacement axial de la garniture est représenté dans la figure 4 en fonction de la position axiale. Le déplacement est nul au fond de la garniture et maximal à la surface supérieure en contact avec le fouloir. La température appliquée à la surface inférieure de l'assemblage et la contrainte de serrage appliquée à l'extrémité supérieure de la garniture ont des effets inverses sur le déplacement axial de la garniture. Pour une température ambiante et pour une position donnée, si la pression de serrage appliquée

augmente, le déplacement axial engendré est plus grand, ce qui rejoint le résultat présenté par la référence [2]. Alors que si la température augmente le déplacement axial diminue et vis-versa.

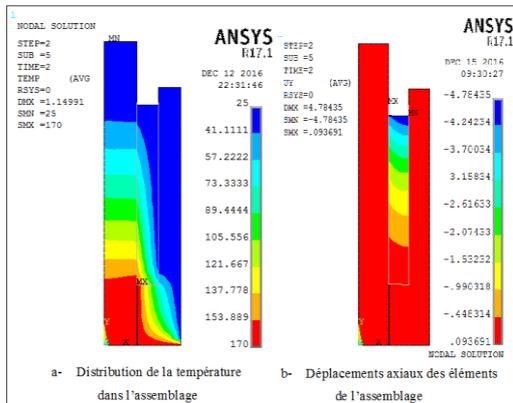


Figure 2: a- La distribution de la température pour $T=170^{\circ}\text{C}$ et $\sigma_D=35\text{ MPa}$. b- Les déplacements axiaux

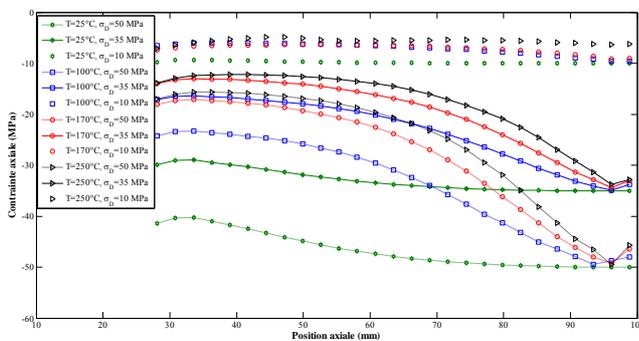


Figure 3: Variation axiale de contrainte de contact axiale à l'interface garniture-tige

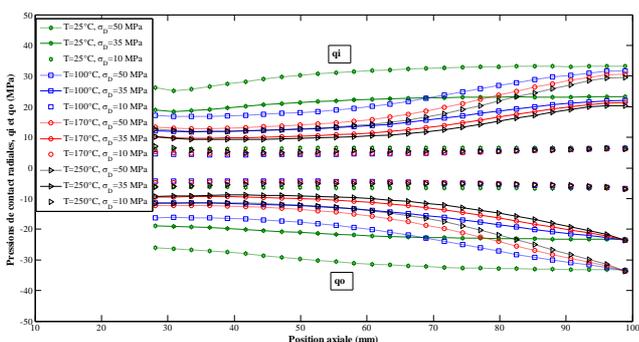


Figure 4: Variation axiale des pressions de contact à l'interface garniture-tige et tige-boitier

4. Conclusion

Le modèle éléments finis de l'assemblage de presse-étoupe sous l'effet de la température et de la pression de serrage est présenté. Les distributions des pressions de contact radiales et des déplacements axiaux sont discutées.

Les résultats de cette étude montrent que la combinaison de l'expansion thermique de la garniture et la charge de serrage appliquée jouent un rôle important dans les performances d'étanchéité de l'assemblage des systèmes de presse-étoupe.

Le développement d'un modèle analytique et la réalisation d'essais aideront à mieux comprendre le comportement des tresses dans les conditions de chargement combiné thermique et mécanique.

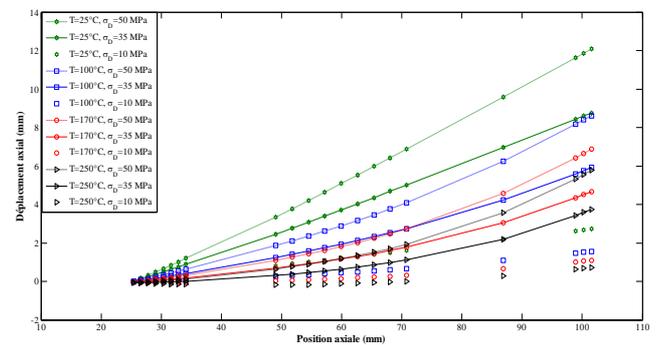


Figure 5: Le déplacement axial de la garniture en fonction de la position axiale

Références

- [1] S. Pengyun, C. Kuangmin, and D. Zongyun, "A theoretical analysis of the lateral pressure coefficients in a soft-packed stuffing-box seal," *Tribology International*, vol. 30, no. 10, (1997), pp. 759–765.
- [2] M. Diany and A.-H. Bouzid, "Analytical evaluation of stresses and displacements of stuffing-box packing based on a flexibility analysis," *Tribology International*, vol. 42, no. 6, (2009) pp. 980–986.
- [3] M. Diany, and A. H. Bouzid, "An Experimental–Numerical Procedure for Stuffing Box Packing Characterization and Leak Tests," *ASME J. Tribol*, 133(1), (2011), p. 012201
- [4] M. Kazeminia and A.-H. Bouzid, "Analysis of stresses and strains in packed stuffing-boxes," in *Proceedings of the ASME Pressure Vessels and Piping Conference (PVP '14)*, Anaheim, Calif, USA, (2014) pp. 1–11.
- [5] M. Kazeminia and A.-H. Bouzid, "Analytical and numerical evaluation of the axial stress distribution of two soft-packed stuffing-box configurations," in *Proceedings of the ASME Turbo Expo 2014, Turbine Technical Conference and Exposition*, D'usseldorf, Germany, 2014, pp.1–8.
- [6] M. Kazeminia and A.-H. Bouzid, "Stress analysis of packed stuffing-boxes," *Journal of Pressure Vessel Technology*, vol. 137, no.5, (2015) Article ID 051205
- [7] J. C. Veiga, A. S. Carmo, C. D. Girao et al., "The influence on the stuffing box of the forces generated by packing thermal expansion," in *Proceedings of the Pressure Vessels Piping Division Conference (ASME '11)*, Baltimore, Md, USA, July 2011. pp. 227–233,
- [8] C.D. Girao and K. Guenther, "Evaluation of stuffing box forces associated with the thermal expansion of e-PTFE and graphite packing sets," in *Proceedings of the ASME Pressure Vessels and Piping Conference*, Toronto, Canada, July 2012, pp.167-173
- [9] Ansys. Standard Manuel. Version 17.1